

探针馈电印刷线天线的矩量法分析 ——(I)单臂天线*

Moment-Method Analysis of Probe-Fed Printed Wire Antennas——Part I: Single-Arm Cases

李融林 张红岩 卢 玲 李培芳

(浙江大学电气工程学院, 杭州 310027)

LI Ronglin, ZHANG Hongyan, LU Ling, LI Peifang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

【摘要】 利用同轴内导体延伸作为探针对印刷天线进行直接馈电是一种易于实现的馈电方式。本文介绍了一种分析单臂探针馈电印刷线天线的数值方法。该方法是基于并矢格林函数和互易定理求解电流积分方程的矩量法,适合于分析任意形状印刷线天线。首先给出描述电流分布的积分方程及其矩量法求解公式。在解得电流分布基础上,应用驻相法计算远区辐射场。通过计算与实验比较,验证了分析方法和计算程序的正确性。最后对一圆极化开口印刷圆环天线进行分析计算,表明了方法的实用价值。

关键词: 印刷线天线,矩量法,探针馈电

Abstract: The coaxial probe feed of a printed antenna formed by extending the inner conductor of a coaxial line is a relatively simple feeding model. A general numerical technique is described for analysis of arbitrarily shaped single-arm printed wire antennas. A unified current integral equation is given on the basis of dyadic Green's functions and the reciprocity theorem. The current distribution is obtained by using the method of moment. The radiation field solution involving both the printed antenna and vertical probe is also presented. The validity of the formulation is verified by comparing the numerically obtained input impedance and radiation patterns for a linear antenna and a meander antenna with measured data. A circular polarization open loop is investigated to illustrate the applicability of the present technique.

Key terms: Printed wire antenna, Method of moment, Probe feed

一、引 言

十多年来,已有许多学者对印刷线天线进行过数值分析^[1~7]。在这些分析模型中,几乎都是采用 δ 间隙电压源作为激励源。在实际天线中为了实现这种馈电方式,必引入馈线平衡转换电路,这无疑将增加天线系统复杂性。

同轴馈电是一种相对简单的馈电方式,特别是对于印刷天线,可直接通过延伸同轴线的内

导体对其实现探针馈电。在分析探针馈电印刷天线时必须考虑探针的影响。最近,文献[8]对这一问题进行了初步研究,但是该文只针对一种特定几何形状,即阿基米德螺旋天线,进行了公式推导和分析计算,而且文中计算结果正确性值得怀疑(有一个明显错误的负值输入电阻)。

本文目的在于介绍一种适用于分析具有一般几何形状探针馈电印刷线天线的数值方法,它是基于求解电流积分方程的矩量法。详细公式将在另一篇论文* 中介绍。本文作为系列论文的第一部分,主要给出单臂天线的电流积分方程及其矩量法求解公式,多臂探针馈电印刷线天线的分析方法将在第二部分介绍。限于篇幅,文中略去复杂的推导过程,着重给出一些可能有参考价值的分析公式和计算示例。

二、电流积分方程

考虑一单臂探针馈电印刷线天线,如图 1 所示。导体半径为 a_s 的任意形状细线天线 S 印刷在一厚度为 h ,相对介电常数为 ϵ_r 的接地板支撑介质层上。印刷天线由一垂直探针 V 在 o' 点处馈电。垂直探针由内、外导半径分别为 a_v 和 b 的同轴线内导体延伸形成。

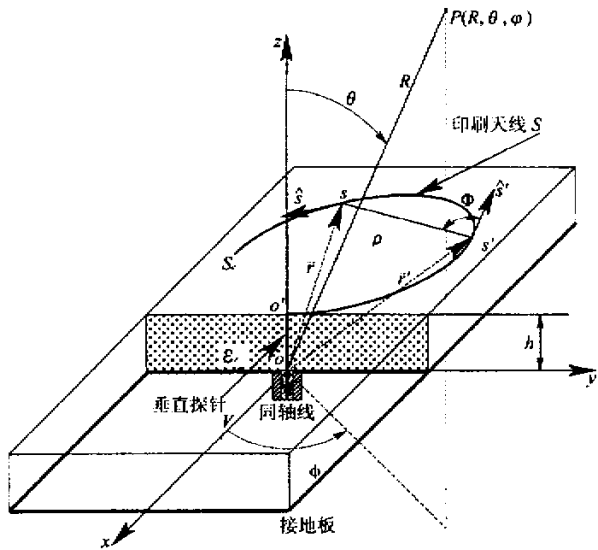


图 1 单臂探针馈电印刷线天线

应用并矢格林函数,可导出由线电流分布 $I(l')$ 产生的沿导线表面轴向电场,为

$$E_l(\vec{r}) = \begin{cases} \int_S \frac{dI(s')}{ds'} \frac{\partial}{\partial z} [\tilde{G}_S^z(\rho_v, z')] ds' + \int_V \left\{ \epsilon_r k_0^2 \tilde{G}_V^z(z, z') I(z') + \frac{dI(z')}{dz'} \frac{\partial}{\partial z} [\tilde{G}_V^z(z, z')] \right\} dz', & \vec{r} \in V \\ \int_S \left\{ k_0^2 \tilde{G}_{s,s}^z(\rho) [\hat{s} \cdot \hat{s}'] I(s') + \frac{dI(s')}{ds'} \frac{\partial}{\partial s} [\tilde{G}_{s,s}^z(\rho) + \tilde{G}_{z,s}^z(\rho)] \right\} ds' + \\ \int_V \frac{dI(z')}{dz'} \frac{\partial}{\partial s} [\tilde{G}_S^z(\rho, z')] dz' - I(h) \frac{\partial}{\partial s} \{ \tilde{G}_S^z(\rho, h) - [\tilde{G}_{s,s}^z(\rho) + \tilde{G}_{z,s}^z(\rho)] \}_{s'=0'}, & \vec{r} \in S \end{cases} \quad (1)$$

万方数据

* 另一篇“探针馈电印刷线天线的矩量法分析——(II) 多臂天线”将刊于《微波学报》2001 年第 4 期。

这里 $k_0 = 2\pi/\lambda_0$ (λ_0 为自由空间波长), $\widetilde{G}_S^z(\rho, z)$, $G_V^z(z, z')$, $\widetilde{G}_V^z(z, z')$, $G_{s,s}^s(\rho)$, $\widetilde{G}_{z,s}^s(\rho)$ 均为 Sommerfeld 积分, 它们的具体表达式为

$$\widetilde{G}_S^z(\rho, z) = -\frac{60j}{k_0} \int_0^\infty \frac{u_0 \lambda}{u f_{\text{TM}}} \sinh(uz) J_0(\lambda \rho) d\lambda \quad (2)$$

$$G_V^z(z, z') = -\frac{60j}{\epsilon_r k_0} \cdot \begin{cases} \int_0^\infty \frac{\lambda}{u f_{\text{TM}}} \cosh(uz') \{u \cosh[u(h-z)] + \epsilon_r u_0 \sinh[u(h-z)]\} \cdot J_0(\lambda a_v) d\lambda, \\ z' \leq z \leq h \\ \int_0^\infty \frac{\lambda}{u f_{\text{TM}}} \cosh(uz) \{u \cosh[u(h-z')] + \epsilon_r u_0 \sinh[u(h-z')]\} \cdot J_0(\lambda a_v) d\lambda, \\ 0 \leq z \leq z' \end{cases} \quad (3)$$

$$\widetilde{G}_V^z(z, z') = -\frac{60j}{\epsilon_r k_0} \cdot \begin{cases} \int_0^\infty \frac{\lambda}{u f_{\text{TM}}} \sinh(uz') \{u \sinh[u(h-z)] + \epsilon_r u_0 \cosh[u(h-z)]\} \cdot J_0(\lambda a_v) d\lambda, \\ z' \leq z \leq h \\ \int_0^\infty \frac{\lambda}{u f_{\text{TM}}} \sinh(uz) \{u \sinh[u(h-z')] + \epsilon_r u_0 \cosh[u(h-z')]\} \cdot J_0(\lambda a_v) d\lambda, \\ 0 \leq z \leq z' \end{cases} \quad (4)$$

$$G_{s,s}^s(\rho) = \lim_{z \rightarrow h} -\frac{30j}{k_0} \left\{ \frac{e^{-jk_0 R_z}}{R_z} + \int_0^\infty \frac{\lambda}{u_0 f_{\text{TE}}} [u_0 \sinh(uh) - u \cosh(uh)] \cdot e^{-u_0(z-h)} \cdot J_0(\lambda \rho) d\lambda \right\} \quad (5)$$

$$\widetilde{G}_{z,s}^s(\rho) = -\frac{60j}{k_0} (1 - \epsilon_r) \int_0^\infty \frac{u_0 \sinh(uh) \cosh(uh)}{f_{\text{TM}} f_{\text{TE}}} \cdot J_0(\lambda \rho) \lambda d\lambda \quad (6)$$

在上述积分式中, $J_n(\cdot)$ 为第一类 n 阶 Bessel 函数, 并且

$$u = \sqrt{\lambda^2 - \epsilon_r k_0^2}, \quad u_0 = \sqrt{\lambda^2 - k_0^2},$$

$$f_{\text{TE}} = u_0 \sinh(uh) + u \cosh(uh),$$

$$f_{\text{TM}} = \epsilon_r u_0 \cosh(uh) + u \sinh(uh),$$

$$R_z = \sqrt{\rho^2 + (h-z)^2},$$

$$\rho_v = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + a_v^2},$$

$$\rho = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + a_s^2}$$

通过互易原理, 印刷线天线上的电流分布 $I(l)$ 应满足如下积分方程

$$\int_L E_l^T(\vec{r}) I(l) dl = \int_0^h \varphi_v(z') T_C(z') dz' \quad (7)$$

式中, T_C 为试探电流源; $E_l^T(\vec{r})$ 为试探电流源产生的电场; φ_v 为探针产生磁场与同轴线口径上磁流源之间的互易量, 其表达式为^[9]

$$\varphi_v(z') = \frac{V_0}{\ln(b/a_v)} \int_0^\infty \frac{\lambda}{u} \left[\frac{R_{\text{TM}} e^{-uz'} + e^{-u(2h-z')}}{D_{\text{TM}}} \right] \cdot [J_0(\lambda b) - J_0(\lambda a_v)] d\lambda \quad (8)$$

其中 V_0 为源电压, $R_{\text{TM}} = \frac{u + \epsilon_r u_0}{u - \epsilon_r u_0}$, $D_{\text{TM}} = R_{\text{TM}} - e^{-2uh}$ 。

三、矩量方程

本文采用参数矩量法^[10]求解积分方程(7)。该方法的基本特色在于它是用参数方程来描述天线几何形状,直接对参变量进行剖分,因此它适合于求解任意弯曲线天线问题。

设印刷线天线的几何形状可用参数方程描述为

$$\vec{r}(t) = x(t)\hat{x} + y(t)\hat{y} + h\hat{z} \quad T_0 \leq t \leq T \quad \vec{r} \in S \quad (9)$$

这里 $\vec{r}(T_0)$ 和 $\vec{r}(T)$ 分别对应于印刷线天线的初始点 o' 与末端点 S_e 。为方便求解,数值上取 $T_0 = h$ 。分别将对应于探针和印刷线天线的参数区间 $[0, h]$, $[h, T]$ 剖分为 $(z_0=0, z_1, \dots, z_{N_V}=h)$ 与 $(t_{N_V}=h, t_{N_V+1}, \dots, t_{N_V+N_S}=T)$ 。在此基础上,将待求电流分布 $I(l)$ 展成

$$I(l) \cong \begin{cases} I_V(z) = \sum_{n=0}^{N_V} I_n B_n(z) & (0 \leq z \leq h) & l \in V \\ I_S(t) = \sum_{n=N_V}^{N_V+N_S} I_n B_n(t) & (T_0 \leq t \leq T) & l \in S \end{cases} \quad (10)$$

这里 I_n 为待定系数, B_n 为分段正弦基函数

$$B_n(\tau) = \begin{cases} \frac{\sin(\tau - \tau_{n-1})}{\sin(\tau_n - \tau_{n-1})}, & \tau_{n-1} \leq \tau \leq \tau_n \\ \frac{\sin(\tau_{n+1} - \tau)}{\sin(\tau_{n+1} - \tau_n)}, & \tau_n \leq \tau \leq \tau_{n+1} \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

考虑到零电流段点条件 $I(S_e)=0$, 可知 $I_{N_V+N_S}=0$ 。因而,将(10)式代入(7)式并取如下试探函数

$$T_C(l') = \begin{cases} B_m(z') & (m = 0, 1, \dots, N_V) & (0 \leq z' \leq h) & l' \in V \\ B_m(t') & (m = N_V, N_V + 1, \dots, N_V + N_S - 1) & (h \leq t' \leq T) & l' \in S \end{cases} \quad (12)$$

可得如下矩量方程

$$\sum_{n=0}^{N_V+N_S-1} Z_{mn} I_n = V_m, \quad (m = 0, 1, \dots, N_V, N_V + 1, \dots, N_V + N_S - 1) \quad (13)$$

其中

$$V_m = \int_0^h \varphi_V(z') B_m(z') dz' \quad (14)$$

$$\begin{aligned} Z_{mn} = & \int_0^h \int_0^h \{ \epsilon_r k_0^2 G_V^z(z, z') B_m(z') B_n(z') - B_m'(z') B_n'(z') \tilde{G}_V^z(z, z') \} dz' dz + \\ & \int_h^T \int_h^T \{ k_0^2 G_{S,S}^s(\rho) \Gamma(t, t') B_m(t') B_n(t) - B_m'(t') B_n'(t) [G_{S,S}^s(\rho) + \tilde{G}_{S,S}^s(\rho)] \} dt' dt - \\ & \int_0^h \int_h^T B_m'(t') B_n'(z) \tilde{G}_S^z(\rho_v, z) dt' dz - \int_h^T \int_0^h B_m'(z') B_n'(t) \tilde{G}_S^z(\rho, z') dz' dt + \\ & \int_h^T B_m(t') B_n(h) \{ \tilde{G}_S^z(\rho_v, h) - [G_{S,S}^s(\rho) + \tilde{G}_{S,S}^s(\rho)] \}_{t=h} dt' + \\ & \int_h^T B_m(h) B_n(t) \{ \tilde{G}_S^z(\rho, h) - [G_{S,S}^s(\rho) + \tilde{G}_{S,S}^s(\rho)] \}_{t=h} dt' - \end{aligned}$$

$$B_m(h)B_n(h)\{\widetilde{G}_S^z(\rho,h)-[\widetilde{G}_{s,s}^s(\rho)+\widetilde{G}_{z,s}^s(\rho)]\}_{t'=h}^{t=h} \tag{15}$$

在(15)式中,

$$\Gamma(t,t')=[\hat{s}\cdot\hat{s}']\frac{ds}{dt}\frac{ds'}{dt'}=x'(t')x(t')+y'(t)y'(t') \tag{16}$$

注意,上述积分式中的被积函数都是确定的已知函数,因此可用任何现成的数值积分程序计算。为节省计算时间,通常用“计算查表法”处理 Sommerfeld 积分^[4]。

四、辐射场计算

在解得电流分布后,应用驻相积分法^[9,11],可导出由探针和印刷线天线产生的远区辐射电场计算公式

$$E_{\theta}(\theta,\varphi)=-j30k_0\frac{e^{-jk_0R}}{R}[S_{\theta}(\theta,\varphi)P_{\theta}(\theta)+V_{\theta}(\theta)Q_{\theta}(\theta)] \tag{17}$$

$$E_{\varphi}(\theta,\varphi)=-j30k_0\frac{e^{-jk_0R}}{R}[S_{\varphi}(\theta,\varphi)P_{\varphi}(\theta)] \tag{18}$$

其中

$$S_{\theta}(\theta,\varphi)=\int_h^T[\cos\theta\cos\varphi x(t)+\cos\theta\sin\varphi y(t)]I_S(t)e^{jk_0\Theta(t)}dt \tag{19}$$

$$S_{\varphi}(\theta,\varphi)=\int_h^T[-\sin\varphi x(t)+\cos\varphi y(t)]I_S(t)e^{jk_0\Theta(t)}dt \tag{20}$$

$$V_{\theta}(\theta)=-\int_0^h\sin\theta\cos(k_0\gamma z)I_V(z)dz \tag{21}$$

$$P_{\theta}(\theta)=\frac{2\sin(k_0\gamma h)}{\cos\theta\sin(k_0\gamma h)-j\gamma\cos(k_0\gamma h)}\cdot\frac{\gamma[\gamma\cos(k_0\gamma h)+j\cos\theta\sin(k_0\gamma h)]}{\epsilon_r\cos(k_0\gamma h)\cos\theta+j\gamma\sin(k_0\gamma h)} \tag{22}$$

$$P_{\varphi}(\theta)=\frac{2\cos\theta\sin(k_0\gamma h)}{\cos\theta\sin(k_0\gamma h)-j\gamma\cos(k_0\gamma h)} \tag{23}$$

$$Q_{\theta}(\theta)=\frac{2\cos\theta}{\epsilon_r\cos(k_0\gamma h)\cos\theta+j\gamma\sin(k_0\gamma h)}\cdot e^{jk_0h\cos\theta} \tag{24}$$

$$\Theta(t)=x(t)\sin\theta\cos\varphi+y(t)\sin\theta\sin\varphi+h\cos\theta \tag{25}$$

$$\gamma=\sqrt{\epsilon_r-\sin^2\theta} \tag{26}$$

五、计算示例

5.1 验证示例

首先用一长度为 $L_s=20\text{mm}$,导线半径为 $a_s=0.1\text{mm}$ 的印刷直线与折线天线来验证理论公式和计算机程序的正确性。如图2所示,介质层厚度为 $h=6.35\text{mm}$,相对介电常数为 $\epsilon_r=2.5$,同轴线内、外导半径分别为 $a_v=0.635\text{mm}$ 和 $b=2.065\text{mm}$ 。

图3和图4分别给出了输入阻抗和辐射方向图的计算与实验结果。可以看出,两者在较多方面有一致性。注意驻相法不适用于 $\theta=\pm 90^\circ$ 附近区域的辐射场计算^[11]。

万方数据

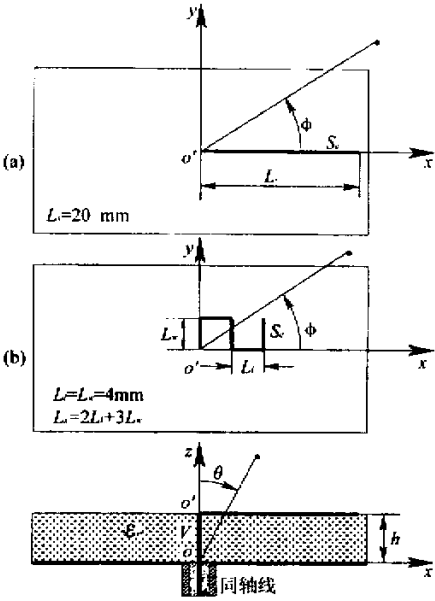


图 2 探针馈电印刷天线, (a) 直线; (b) 折线

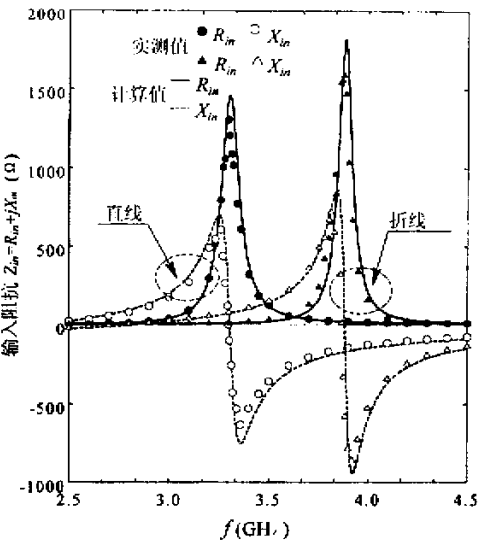


图 3 探针馈电直线与折线天线的输入阻抗特性

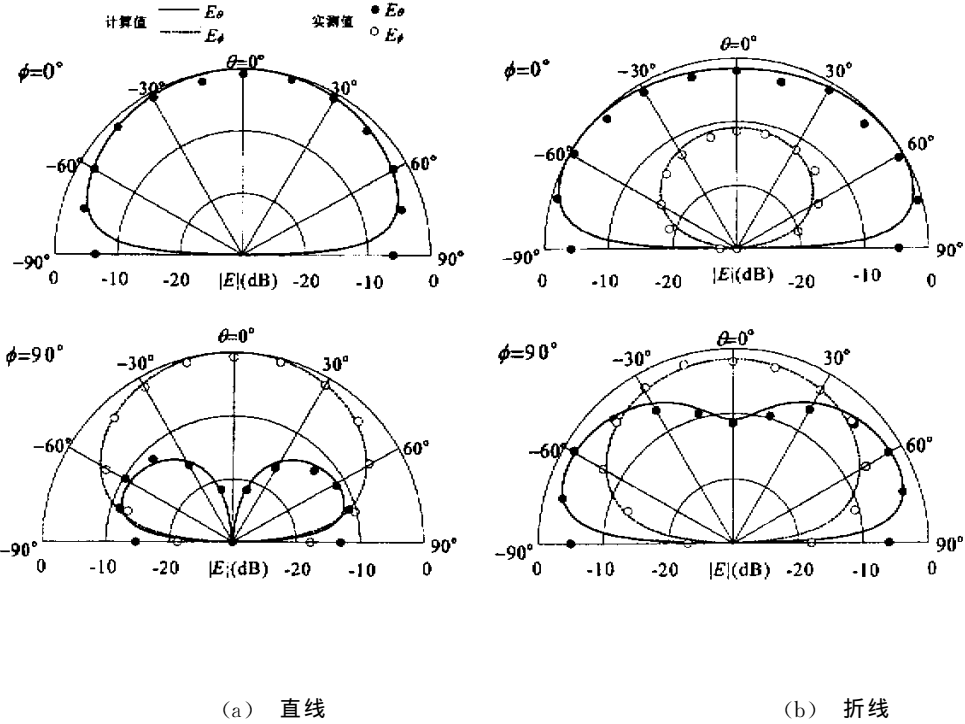


图 4 天线的辐射方向图(3GHz)

5.2 开口圆环天线

在确保计算程序正确的基础上,下面分析一开口印刷圆环天线。它的几何形状和尺寸大小如图 5 所示。该天线为圆极化天线,通过改变圆环半径 R_c 及开口角度 ϕ_g ,可寻找到沿 $+z$ 轴方向的最小分贝圆极化轴比。图 5 给出的 R_c 及 ϕ_g 大小为优化尺寸。计算所得 z 方向轴比及输入阻抗特性如图 6 所示。可以看到,低于 3dB 的轴比带宽约为 12%,且在此区间内天线具有良好的输入阻抗特性,其大小基本保持在 $(65-j20)\Omega$ 附近,相当于 1.5 左右的 50 Ω 电压驻波比 (VSWR)。图 7 给出了中心频率 f_0 处天线上的电流分布(天线长度归一化到 $1.0231\lambda_0$),其对应的辐射方向图如图 8 所示。图中表明,一个光滑衰减的行波电流分布对应一个良好的圆极化辐射方向图,右旋(E_R)圆极化方向图波束宽度约为 $\pm 30^\circ \sim \pm 50^\circ$ 。

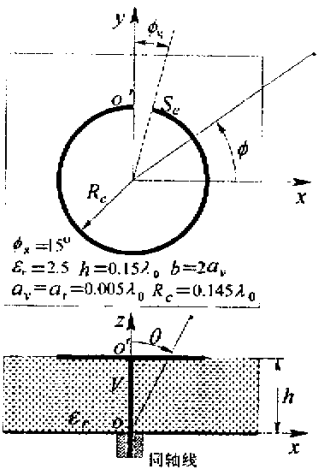


图 5 探针馈电开口圆环天线

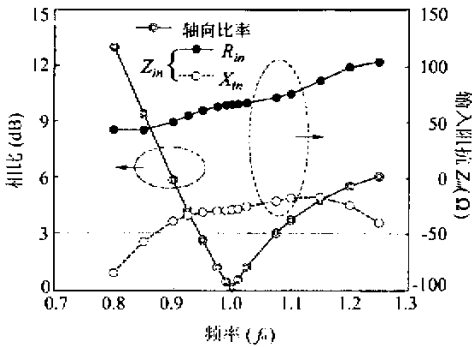


图 6 开口圆环天线的输入阻抗与轴比特性

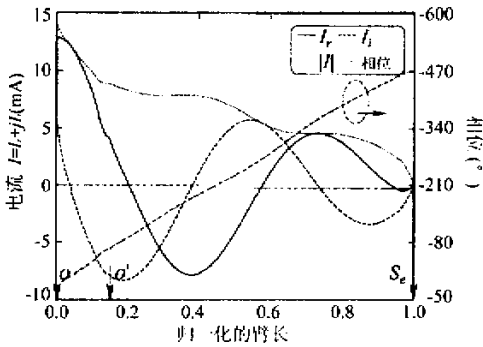


图 7 中心频率处开口圆环天线的电流分布

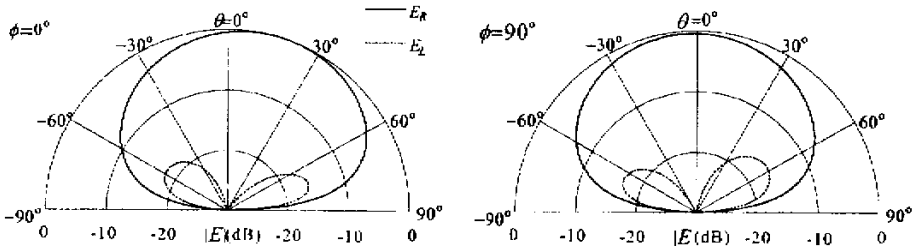


图 8 中心频率处开口圆环天线的辐射方向图

六、结 论

本文介绍了适合于分析具有任意几何形状单臂探针馈电印刷线天线的数值分析方法。该方法是用参数矩量法求解根据互易原理导出的电流积分方程。文中给出了统一的电流分布求解方程和辐射场计算公式。通过一个简单印刷线天线的计算与实验比较验证了方法的有效性。最后应用本文方法设计出一具有良好辐射和阻抗特性的圆极化开口圆环天线。

参 考 文 献

- [1] I. E. Rana, N. G. Alexopoulos. Current distribution and input impedance of printed dipoles. *IEEE Trans. AP*, 1981, 29(1): 99~105.
- [2] H. Nakano, S. R. Kerner, N. G. Alexopoulos. The moment method solution for printed wire antennas of arbitrary configuration. *IEEE Trans. AP*, 1988, 36(12): 1667~1674.
- [3] H. Nakano, K. Hirose, T. Suzuki, *et al.* Numerical analysis of printed line antennas. *IEE Proc.*, Pt. H, 1989, 136(2): 98~104.
- [4] H. A. Ragheb, L. Shafai. Analysis of arbitrary shape printed line microstrip antennas. *IEEE Trans. AP*, 1990, 38(2): 269~274.
- [5] N. J. Champagne II, J. T. Williams, D. R. Wilton. Analysis of resistively loaded, printed spiral antennas. *Electromagnetics*, 1994, 14: 363~395.
- [6] H. A. N. Hejase. Analysis of a printed wire loop antenna. *IEEE Trans. AP*, 1994, 42(2): 227~233.
- [7] S. K. Khamas, G. G. Cook. Moment-method analysis of printed wire spiral using curved piecewise sinusoidal subdomain basis and testing functions. *IEEE Trans. AP*, 1997, 45(6): 1016~1022.
- [8] S. K. Khamas, G. G. Cook, R. J. Waldron, *et al.* Moment method analysis of printed single-arm wire spiral antennas using curved segments. *IEE Proc.*, Pt. H, 1997, 144(4): 261~265.
- [9] C. L. Chi, N. G. Alexopoulos. Radiation by a probe through a substrate. *IEEE Trans. AP*, 1986, 34(9): 1080~1091.
- [10] R. Li, G. Ni, J. Yu, *et al.* A new numerical technique for calculating current distributions on curved wire antennas-Parametric B-spline finite element method. *IEEE Trans. Magn.*, 1996, 32(3): 906~909.
- [11] N. K. Uzunoglu, N. G. Alexopoulos, J. G. Fikioris. Radiation properties of microstrip dipoles. *IEEE Trans. AP*, 1979, 27(6): 853~858.

李融林 1963 年生, 1983 年毕业于西安交通大学电气工程系, 1994 年在重庆大学获工学博士学位, 1994~1996 年在浙江大学电工博士后流动站从事电磁分析研究, 1997~1998 年在日本法政大学从事卫星通讯天线研究, 1999 年在美国犹他大学作电磁分析合作研究。现为浙江大学电机系教授, 主要从事电磁理论及应用研究。

张红岩 1965 年生, 1988 年毕业于浙江大学电机系, 1993 年获浙江大学理论电工专业硕士学位。现为讲师, 在职博士生。主要研究方向为电网理论及电磁场技术等。

卢 玲 1976 年生, 1998 年毕业于浙江大学电机系, 现在攻读浙江大学电工理论与新技术专业硕士学位。主要研究方向为电磁兼容和天线技术等。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训：

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>